



Facultad de Veterinaria  
**Universidad Zaragoza**



# Trabajo Fin de Grado en Veterinaria

Importancia del contenido proteico de la dieta de cerdos en  
crecimiento

Relevance of the protein content in the diet of growing pigs

Autor/es

Oihane Jauregui Gorostiaga

Director/es

María Ángeles Latorre Górriz

Leticia Mur Palús

Facultad de Veterinaria

Curso 2018-2019

## Índice

1.	RESUMEN .....	1
1.1.	Abstract .....	2
2.	INTRODUCCIÓN .....	3
3.	JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS .....	7
4.	EXPERIMENTO 1 .....	8
4.1.	Objetivo .....	8
4.2.	Material y métodos .....	8
4.2.1.	<i>Manejo de los animales, dietas testadas y diseño experimental.</i> .....	8
4.2.2.	<i>Control de los rendimientos productivos</i> .....	10
4.2.3.	<i>Análisis laboratoriales</i> .....	10
4.2.4.	<i>Estudio de excreción de N</i> .....	14
4.2.5.	<i>Análisis estadístico</i> .....	15
4.3.	Resultados y discusión .....	15
4.3.1.	<i>Análisis de los piensos</i> .....	15
4.3.2.	<i>Rendimientos productivos</i> .....	16
4.3.3.	<i>Estudio de excreción de N</i> .....	18
5.	<b>EXPERIMENTO 2</b> .....	19
5.1.	Objetivo .....	19
5.2.	Material y Métodos.....	19
5.2.1.	<i>Manejo de los animales, dietas testadas y diseño experimental</i> .....	19
5.2.2.	<i>Control de los rendimientos productivos</i> .....	20
5.2.3.	<i>Análisis laboratoriales</i> .....	20
5.2.4.	<i>Estudio de excreción de N</i> .....	21
5.2.5.	<i>Análisis estadístico</i> .....	21
5.3.	Resultados y discusión .....	21
5.3.1.	<i>Análisis de piensos</i> .....	21
5.3.2.	<i>Rendimientos productivos</i> .....	22
5.3.3.	<i>Estudio de excreción de N</i> .....	26
6.	CONCLUSIONES .....	28
7.	VALORACIÓN PERSONAL .....	29
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	30

## **1. RESUMEN**

Se llevaron a cabo dos experimentos para evaluar la influencia del nivel de proteína bruta (PB) en la dieta de cerdos en crecimiento sobre los parámetros productivos y ambientales. En el primer experimento (13 días) se utilizaron 512 lechones, 50% machos y 50% hembras, de 21 días de edad y 5,23 kg de peso vivo (PV) para estudiar el impacto del contenido proteico de la dieta pre-estárter (de aprox. 5 a 8 kg PV) a lo largo de la transición. Se testaron dos dietas; 16,7% PB (control) vs. 18,2% PB (alta proteína). Cada tratamiento se replicó 8 veces, siendo la réplica 2 corrales, que compartían comedero, con 16 lechones/corral (cada corral con un sexo). Así, la unidad experimental eran 2 corrales, 32 lechones, 50% machos y 50% hembras. En el segundo ensayo se utilizaron los mismos animales, comenzando con 33 kg PV y sacrificándolos con 106 kg PV. El objetivo era valorar la influencia de adelantar el momento de cambio de pienso de crecimiento a pienso de finalización. Hubo dos tratamientos experimentales; adelanto a 87 kg PV (control) vs. adelanto a 65 kg PV (precoz). La dieta de crecimiento contenía 15,9% PB y la de finalización 15,5% PB. Las instalaciones, corrales y unidades experimentales fueron las mismas que en el primer ensayo. Bajo dichas condiciones experimentales, se puede concluir que el aumento en el nivel de PB durante la fase pre-estárter no generó problemas entéricos y mejoró los rendimientos productivos de los lechones en dicho periodo, pero este efecto positivo se diluyó después, y además generó mayor excreción de N. Por otro lado, el adelanto del momento de cambio del pienso de engorde a finalización repercutió negativamente en los parámetros productivos de los cerdos, probablemente por tratarse de un excesivo adelanto, pero supuso una reducción de la excreción de N.

Bajo dichas condiciones experimentales, se puede concluir del primer experimento que el aumento en el nivel de PB no generó problemas entéricos y mejoró los rendimientos productivos de los lechones en la fase pre-estárter, pero este efecto positivo se diluyó después, y además generó mayor excreción de N. Por otro lado, el adelanto del momento de cambio del pienso de engorde a finalización repercutió negativamente en los parámetros productivos de los cerdos, probablemente por tratarse de un excesivo adelanto, pero supuso una reducción de la excreción de N.

## **1.1. Abstract**

### **Importance of the protein content of the diet of growing pigs**

Two experiments were carried out to evaluate the influence of the level of crude protein (CP) in the growing pig diet on the productive and environmental parameters. In the first experiment (13 days), a total 512 piglets, 50% males and 50% females, 21 days old and 5,23 kg of body weight (BW) were used to study the impact of the protein content of the pre-starter diet (from approx. 5 to 8 kg live weight -LW-) throughout the transition period. Two diets were tested; 16,7% CP (control) vs. 18,2% CP (high protein). Each treatment was replicated 8 times, being the replicate 2 pens together, which a shared feeder, with 16 piglets/pen (each pen with one sex). Thus, the experimental unit was 2 pens, 32 piglets, 50% males and 50% females. In the second trial, the same animals were used, starting with 33 kg BW and slaughtering them with 106 kg BW. The aim was to assess the influence of advancing the moment of change of feed from growing to finishing. There were two experimental treatments; at 87 kg BW (control) vs. at 65 kg BW (early). The growing diet contained 15.9% CP and the finishing 15.5% CP. The facilities, pens and experimental units were the same as in the first study. Under our experimental conditions, it can be concluded that the increase in the level of CP in the pre-starter feed did not carried out enteric problems and improved the productive performances of piglets during that period, but this positive effect disappeared afterwards and also resulted in a higher excretion of N. Moreover, the advance in the moment of feeding change from the growing to the finishing period had a negative impact on the production parameters of pigs, probably because it was an excessive advance. However, it generated a reduction in the excretion of N.

It can be concluded that the advance of the moment of the change of the feed from fattening to finishing phase had a negative impact in the production parameters of pigs, probably because it is too much progress. However, this practice resulted in a reduction in the excretion of N.

## 2. INTRODUCCIÓN

En la producción porcina, al igual que en el resto de las producciones animales, se deben conseguir unos resultados productivos óptimos al menor coste posible. Del coste de la crianza de los cerdos, un 55-65% se destina a la alimentación, por lo que es imprescindible prestarle atención a la misma.

Uno de los nutrientes claves, en la alimentación de cualquier especie animal, es la proteína bruta (PB). Es fundamental cubrir las necesidades proteicas, para maximizar el crecimiento del animal. En este caso, una gran mayoría de la misma se degrada en la zona distal del intestino, no procesándose en la zona proximal (1). Por otro lado, la utilización de un mayor nivel de PB en el pienso puede resultar beneficiosa, ya que aumenta su disponibilidad en el intestino, incrementando los ácidos grasos de cadena ramificada. Estos compuestos aportan energía extra al lechón, y así los parámetros productivos mejoran (2, 3, 4). Esta la razón de que, con frecuencia, el nivel proteico de las dietas exceda las necesidades.

Sin embargo, también hay que tener en cuenta que cuando el aporte de PB en la dieta supera los requerimientos, la proteína degradada en el tracto anterior aumenta, produciéndose procesos de fermentación. Estas reacciones, causadas por las bacterias en el intestino delgado, producen una serie de compuestos que, en cantidades elevadas, pueden llegar a ser tóxicos (como las aminas o el amoníaco) (5-7). A su vez, estas sustancias se asocian a una mayor proliferación de agentes patógenos presentes en el intestino, produciendo colonizaciones que generan procesos patológicos entéricos (5, 8).

Los procesos entéricos son especialmente frecuentes en la etapa de post-destete del lechón siendo, sin duda, la más delicada de la vida de un cerdo puesto que pasa por alteraciones de la morfología, la histología, la fisiología y la microbiología de su tracto gastrointestinal, asociado al gran estrés ambiental y social. Este estrés se traduce en un menor consumo de alimento, menor crecimiento y mayor mortalidad (9). Factores como el agotamiento de la inmunidad pasiva, el alejamiento de la madre y la mezcla de lechones entre manadas (jerarquización) tienen una profunda influencia en el desarrollo de los animales. Probablemente, el desafío más importante es el cambio de alimentación líquida (leche) a pienso sólido. Por ello, es un periodo en el que las patologías entéricas tienen mucha repercusión, tanto a nivel de crecimiento como de mortalidad. Es común, por ejemplo, la presencia de diarreas (*Escherichia coli*, entre otros) (10,11).

La digestibilidad de la proteína empleada en el pienso es otro factor a tener en cuenta cuando se intenta reducir la fermentación de las proteínas en el intestino proximal (12). En este sentido, la proteína de origen animal tiene una elevada digestibilidad, lo que optimiza la utilización de la misma. Aunque su administración está prohibida en alimentación de rumiantes en la UE (debido a la normativa desarrollada para la vigilancia, control y erradicación de las encefalopatías espongiformes transmisibles), el uso de determinadas materias primas de este tipo está permitido en lechones. Es el caso de: la harina de pescado, el plasma porcino y los hidrolizados de intestinos. Todos ellos aportan una proteína con un perfil aminoacídico muy similar al requerido por los animales, por lo que junto con su elevada digestibilidad (>90%), constituye un ingrediente perfecto para incluir en los piensos administrados a cerdos jóvenes (13, 14).

La harina de pescado es el subproducto obtenido a partir del procesado de pescados enteros o partes de los mismos, extrayéndoles parte del aceite. Las hay con diferentes concentraciones de proteína (60, 62, 67, 70%...) y distintas digestibilidades según proveedores, siendo elevada en todos los casos (15). Los preparados a base de plasma porcino, también los hay con diferentes concentraciones de proteína, y se comercializan en forma de spray. Se ha demostrado que este ingrediente mejora la respuesta inmune del lechón (reduciendo las citocinas inflamatorias) (16,17) contrarrestando, en parte, el efecto perjudicial del estrés en el destete (18). Por último, el hidrolizado de intestino delgado de cerdo se obtiene mediante la hidrólisis enzimática (pancreatina, tripsina, pepsina...) de preparados de mucosa intestinal, y se considera un componente muy importante para la dieta de los lechones de transición (19,20).

No obstante a todo lo anterior, en la práctica, la proteína animal sólo se usa como suplemento del pienso, debido a su elevadísimo precio. Por lo tanto, las dietas siempre se formulan en base a materias primas de origen vegetal, que presentan una serie de inconvenientes.

En concreto, las proteínas de origen vegetal no son totalmente digestibles por el lechón, y además reducen el consumo de pienso (12). Así, existe una relación entre el uso excesivo de ingredientes vegetales y un empeoramiento de los parámetros productivos. Otro de los factores a tener en cuenta en el uso de estas fuentes proteicas es el alto contenido en factores anti-nutritivos de los alimentos vegetales, que pueden reducir aún más la digestibilidad de las proteínas, y causar daños en la mucosa intestinal de los lechones, como es el caso de la glicina, beta-conglicinina y oligosacáridos presentes en la soja (14,21).

Cuando se habla de digestibilidad, hay que tener en cuenta no sólo la digestibilidad de la proteína, sino también la de los aminoácidos (AA), especialmente a la hora de formular dietas bajas en proteína. Los AA son los componentes básicos de las proteínas, que se componen de un grupo amino ( $\text{NH}_2$ ) y un grupo carboxilo ( $-\text{COOH}$ ), además de una cadena lateral específica de cada aminoácido. Así, forman cadenas lineales en las cuales el grupo carboxilo de un aminoácido reacciona con el grupo amino de otro (22). Los AA no esenciales son aquellos que pueden ser sintetizados por parte del animal, siempre que haya un aporte suficiente de PB inespecífica en la dieta. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la capacidad de síntesis de los mismos puede no ser suficiente para cumplir con los requisitos. Por otro lado, los AA esenciales son los que no pueden ser sintetizados por la especie en cuestión, de forma que el único aporte es vía dieta. Estos aminoácidos en la especie porcina son: Lisina (Lys), Metionina (Met), Threonina (Thr), Triptófano (Trp), Fenilalanina (Phe), Histidina (His), Valina (Val), Isoleucina (Ile), y Leucina (Leu). Hay diferentes formas de adecuar las necesidades a los aportes de aminoácidos con los piensos, pero el más utilizado es comparar los perfiles de aminoácidos en función del concepto de proteína ideal. Dicho concepto se basa en que todos los AA son co-limitantes para un rendimiento máximo, por lo que su administración debe coincidir exactamente con los requerimientos. Las necesidades se estiman utilizando la lisina como aminoácido de referencia, porque normalmente es el limitante en los piensos.

Cuando el animal pasa a la fase de engorde, los inconvenientes del uso excesivo de PB en el pienso varían. Aunque ya no se presenten tan frecuentemente problemas entéricos, el aporte de PB tiene el inconveniente de aumentar el precio del pienso. Los AA sintéticos son cada vez más asequibles (23), y reducen el potencial contaminante de las granjas, debido a que permiten disminuir el aporte de PB inespecífica con la dieta, sin comprometer los rendimientos de los animales. Por ello, se está optando por utilizar estos productos para reducir el aporte de PB. Para llevar a cabo esta práctica, es necesario calcular las necesidades de AA de los animales de forma precisa, ya que si no los parámetros de productividad se verán afectados (22,24-27).

Por último, cuando las proteínas se degradan generan metabolitos, de los cuales parte se excretan al medio ambiente, en forma de heces, de orina o gaseosa. Tradicionalmente, el purín de los cerdos se ha utilizado como fertilizante orgánico, debido a su gran contenido en N (nitrógeno) y P (fósforo), que al entrar en contacto con el suelo se convierten en nitratos y fosfatos (28). Sin embargo, la intensificación de la ganadería acarrea una gestión inadecuada de los purines, creando un problema ambiental. Los efectos perjudiciales del purín se producen debido a la excreción excesiva de N y P, además de la excreción de gases de efecto invernadero y gases olorosos (28-30).

Un ejemplo de estos gases es el amoníaco, que tiene potencial contaminante, puesto que se considera precursor de gases de efecto invernadero (31). Asimismo, contribuye en problemas de malos olores, fenómenos de eutrofización y acidificación del agua (28). La cantidad de amoníaco presente en el intestino es un balance entre la desaminación de los AA y la síntesis de proteína bacteriana (32). Como consecuencia, un menor contenido en PB del pienso puede conseguir una disminución de la excreción de este compuesto (33-37).

Dentro de los problemas ambientales causados por el N que contienen los purines se encuentra el fenómeno de sobre-fertilización de la tierra, acarreado consecuencias como la contaminación de acuíferos, aguas superficiales y suelo por nitratos (fenómenos de acidificación de los suelos). Además, una mayor excreción de N con los purines se relaciona con un incremento de producción de amoníaco (28,38).

Con el objetivo de reducir las excreciones de los dos compuestos mencionados, la normativa europea establece unos límites máximos de N por hectárea de suelo agrario (Directiva 91/676/CEE del Consejo, 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura) (39), y obliga a declarar y planificar la excreción de N y la gestión de purines, de forma que este mineral resulta limitante a la hora de utilizar el purín como fertilizante. Además, la Directiva (UE) 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos (40) tiene como objetivo la reducción sustancial de las emisiones de amoníaco a la atmósfera. Por todo ello, se están desarrollando muchas estrategias de reducción de N y amoníaco. Una de las más influyentes, incluida en las Mejores Técnicas Disponibles (MTDs) establecidas por la UE en su documento BREF 2003 (41) y 2017 (42), es la reducción del nivel de PB en las dietas del porcino, debido a que está generalmente aceptado (p ej. 30, 37, 41, 43) que el contenido en N administrado con el pienso está estrechamente relacionado con la cantidad excretada de este compuesto.



### 3. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

La inclusión de un alto nivel de PB en las dietas pre-estárter es un tema con cierta controversia. Un nivel considerable de PB acarrea beneficios en los parámetros productivos de la explotación, consiguiendo un mejor arranque de los lechones (3,4). Sin embargo, numerosos autores han relacionado también los piensos muy proteicos con procesos entéricos, como las diarreas post-destete (8, 10, 44) aunque, al mismo tiempo, esta práctica no tiene porqué significar un cambio negativo en la morfología intestinal del lechón (5, 6, 45). Debido a la gran repercusión que tienen estos procesos patológicos en los lechones recién destetados, buena parte de la investigación se ha centrado en los últimos años en ello.

En la etapa de cebo, el nivel de PB en pienso tiene también otra consecuencia importante y es que influye en el impacto ambiental derivado de las excreciones de los animales. Se ha demostrado (33-35) que la proteína dietaria repercute en la excreción de N a través de los purines, lo que a su vez afecta a la sostenibilidad de la explotación. En esta sociedad, cada vez más preocupada por el medio ambiente, y en especial en la industria porcina que se caracteriza por la innovación y el desarrollo, buscar alternativas para reducir la excreción de N en las producciones es primordial. No obstante, existen trabajos (22,46) que afirman que aunque se suplan las necesidades alimenticias de AA esenciales en el porcino adulto, la excesiva reducción de PB en el pienso acarreará una disminución en los parámetros productivos de los animales, debido a una falta de N para síntesis de AA no esenciales.

En este contexto, se plantea el presente TFG con el objetivo general de evaluar la relevancia del nivel de proteína en la dieta de cerdos en crecimiento. Los objetivos específicos son:

1. estudiar el impacto del contenido proteico de la dieta pre-estárter de lechones sobre la incidencia de diarreas, los parámetros productivos y la excreción de N en la fase de transición.
2. valorar la influencia de adelantar el momento de cambio de pienso de engorde a finalización en cerdos de cebo sobre los rendimientos productivos y la excreción de N en la fase de cebo.

## 4. EXPERIMENTO 1

### 4.1. Objetivo

La finalidad de este primer experimento fue estudiar la repercusión de aumentar el contenido en proteína de la dieta de lechones en la fase pre-estárter sobre los rendimientos productivos y la excreción de N.

### 4.2. Material y métodos

#### 4.2.1. Manejo de los animales, dietas testadas y diseño experimental.

Se utilizaron 512 lechones cruzados Pietrain x (Landrace x Large White), 50% hembras y 50% machos, de  $24 \pm 3$  días de edad y  $5,23 \pm 0,675$  kg de peso vivo (PV) que procedían de la misma granja. El ensayo se realizó en una granja experimental del Grupo UVESA, ubicada en Tudela (Navarra). Los lechones se alojaron en una nave con ocho salas, con cuatro corrales cada una, y con 16 lechones del mismo sexo en cada corral. Cada box disponía de dos bebederos (tipo cazoleta) y el suelo era parcialmente enrejillado (Figura 1). Cada comedero (tolva Big Dutchmann) era compartido por dos corrales. El ambiente fue controlado de forma que temperatura y ventilación se fueron adaptando a las necesidades de los animales a medida que avanzaban en edad y peso.



**Figura 1.** Instalaciones y lechones en la etapa de transición.

Hubo dos tratamientos experimentales en base al porcentaje de PB del pienso pre-estárter; 18,2% (experimental) vs. 16,7% (control). Cada tratamiento se replicó 8 veces, estando constituida la réplica por dos corrales de 16 cerdos/corral (uno de machos y uno de hembras) que recibían la misma dieta, puesto que compartían comedero. El pienso estándar fue el mismo para todos los cerdos (con un 16,7% PB) así como el pienso de pre-cebo (con un 14,7% PB). Los perfiles nutricionales de la dieta control pre-estárter, de la estándar y de la de pre-cebo cumplían con las recomendaciones de FEDNA (2013) (47) para cerdos de esas edades.

Los piensos fueron fabricados en UVESA en forma de gránulo. El suministro de alimento y agua fue *ad libitum* durante todo el ensayo. La composición estimada en nutrientes e ingredientes de los piensos empleados se muestran en las Tablas 1, 2 y 3, respectivamente.

**Tabla 1.** Composición nutricional estimada de los piensos utilizados.

Nutrientes, %	C100		C50	C75
	Control	Alta PB		
MS	89,27	89,32	89,38	89,38
<b>PB</b>	<b>16,13</b>	<b>17,7</b>	<b>16,37</b>	<b>15,48</b>
Almidón	44,55	43,98	40,43	42,99
Lactosa	2,00	2,00	-	-
FB	2,67	2,39	3,60	4,5
FND	9,29	9,02	12,33	14,34
EE	4,27	4,11	5,72	5,74
Lys dig.	1,20	1,23	1,24	0,98
Met dig.	0,49	0,51	0,42	0,35
M+C dig.	0,72	0,74	0,65	0,62
Thr dig.	0,77	0,79	0,72	0,73
Trp dig.	0,25	0,26	0,23	0,24
EN (Kcal/kg)	2.460	2.460	2.420	2.420

MS: Materia seca. FB: Fibra Bruta. FND: Fibra Neutro Detergente. EE: Extracto etéreo.

**Tabla 2.** Composición de ingredientes estimada piensos experimentales (fase pre-estárter).

Ingredientes, %	Control	Alta PB
Cebada	21,65	21,65
Trigo	13,33	13,33
Maíz	25,00	25,00
Harina de soja 47	11,69	11,00
Maíz/Trigo	10,00	9,70
procesado 50:50		
Arroz tratado	5,00	5,00
Harina de	1,00	3,00
pescado		
Suero dulce	2,84	2,84
Aceite de soja	2,11	2,11
Plasma porcino	1,00	1,00
Prot. trigo hydr.	1,00	-
Lisina líquida	0,76	0,76
Treonina	0,32	0,31
DL-metionina	0,28	0,28
L-valina	0,18	0,18
Glicerina 85%	0,50	0,50
Ácido fórmico	0,20	0,20
L-triptófano	0,10	0,10

**Tabla 3.** Composición de ingredientes estimada piensos estárter y pre-cebo.

Ingredientes, %	C50	C75
Cebada	33,81	45,00
Trigo	24,99	12,00
Maíz	10,00	3,42
Harina soja 47	9,60	1,50
Soja extrus.	8,00	10,00
Salvado trigo	2,00	5,00
Palbio 50 RD <sup>1</sup>	1,5	-
Guisante	3,74	15,00
primavera		
Manteca	2,56	2,09
refinada		
Lisina líquida	0,91	0,75
Treonina	0,25	0,20
DL-metionina	0,22	0,14
L-valina	0,10	0,10
L-triptófano	0,05	0,06

<sup>1</sup>Palbio 50 RD: Hidrolizado de proteína de intestino.

Se tomaron muestras de cada tipo de pienso y se trasladaron al laboratorio de la Unidad de Nutrición Animal de la Facultad de Veterinaria, donde se molieron a 1 mm y se conservaron a temperatura ambiente hasta su análisis laboratorial.

#### 4.2.2. Control de los rendimientos productivos

Se tomó el peso de los animales en cuatro ocasiones: antes de empezar a administrar cada tipo de pienso (pre-estárter, estándar y pre-cebo) y al finalizar el último. Así, se pudo calcular la GMD para cada fase, así como para el periodo global. Para realizar los pesajes, se utilizó una báscula de dimensiones 4 m x 4 m que permitía la pesada conjunta de los 16 animales de cada corral. Asimismo, se controló el CMD de pienso mediante un novedoso sistema que aporta los datos diariamente (Big Dutchman). Con ambos parámetros se calculó el índice de conversión (IC). También se controló diariamente la mortalidad y las posibles patologías.

#### 4.2.3. Análisis laboratoriales

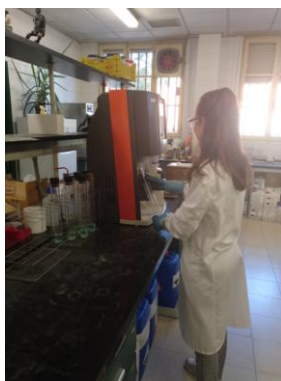
De todos los tipos de pienso se determinó por duplicado el contenido en materia seca, cenizas, PB, fibra neutro detergente y extracto etéreo, por los procedimientos establecidos por la AOAC (2005) (48) (Figura 2).

Antes de nada, como ya se ha mencionado, todas las muestras se molieron a 1 mm en un molino. La materia seca se analizó mediante la técnica de secado por estufa a 105°C durante 24 h. Se pesaron dos crisoles cerámicos (peso inicial) y en cada uno de ellos se prepararon 2 g de muestra desecada (en estufa a 100 °C y atemperadas en el desecador). A continuación, se introdujeron en la estufa a 105°C durante 24 h. Seguidamente, se extrajeron y se pesaron (peso final). Utilizando los dos pesos obtenidos se estimó el porcentaje de materia seca:

$$\text{Materia seca} = \frac{(\text{peso inicial} + \text{peso final}) - \text{peso inicial}}{\text{materia fresca}} * 100$$

Para las cenizas, el procedimiento consistió en pesar la materia seca con el crisol tarado (peso inicial) y seguidamente introducirlo en la mufla a 550°C durante 8 h. Antes de que transcurrieran 24 h, se apagó la mufla y se dejó abierta 30 min. Por último, se llevaron los crisoles a la estufa a 105°C y se dejaron 30 min, para luego atemperarlos en el desecador y pesarlos (peso final). Los resultados se determinaron mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{Cenizas} = \frac{(\text{tara crisol} + \text{peso final}) - \text{tara crisol}}{(\text{tara crisol} + \text{peso inicial}) - \text{tara crisol}} * 100$$



**Figura 2.** Análisis de piensos en el laboratorio.

En cuanto a la determinación del contenido de PB en el pienso, se utilizó el método Kjeldahl para la cuantificación del N total. Para realizar la digestión, se tomó 1 g de muestra fresca y se introdujeron cada una de las muestras en tubos de cristal. Se obtuvieron un total de doce tubos (2 por muestra y 2 blancos) en los que se introdujo una pastilla de catalizador Kjeldahl (6,25% en sulfato de cobre pentahidratado) además de 15 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 95-98%. Estos dos últimos pasos se realizaron también en los blancos, pero sin introducir la muestra en los mismos. Se llevaron las muestras al digestor y se programó en tiempo y temperatura, de forma que comenzó en 150°C durante 10 min, subiendo de 50 en 50°C hasta los 420°C. Una vez alcanzados, las muestras se mantuvieron a esta temperatura durante 1 hora. Para saber si la digestión era correcta, se comprobó que los reactivos adquirieran un color verdoso.

Una vez transcurrido ese tiempo, se dejaron enfriar en el digestor 90 min, y se procedió a la limpieza de las paredes de los tubos con agua destilada. En ese momento, la disolución adquirió una tonalidad azulada, típica de este proceso. Al día siguiente, se realizó la valoración mediante el equipo 2300 Kjeltec Analyzer Unit, y se apuntó el resultado de HCl añadido. Se realizó el mismo procedimiento con el blanco, dándole un valor de 0, y valorándolo cada 8-9 muestras. A partir del dato de HCl añadido se calculó el nivel de  $\text{NH}_4^+$  presente en la muestra:

Número de equivalentes HCl = Número de equivalentes de  $\text{NH}_4^+$

PB (g) = N total (g) X 6,25.

Para realizar la determinación rápida del extracto etéreo (EE) se utilizó el método Ankom. Se numeraron 10 bolsas, se introdujeron 2 g de muestra fresca en cada una, se pesaron y se metieron a la estufa a 100°C durante 3 h. Se dejaron secar y enfriar en el desecador durante 10 min, y se volvieron a pesar.

A continuación, se introdujeron en el extractor de grasa (Ankom Extraction System XT15) 90 min a 60°C, para después volverlos a introducir en la estufa durante 20 min. Se dejaron enfriar en el desecador unos 15 min y se pesaron de nuevo. La fórmula empleada se presenta a continuación:

$$\%EE = \frac{(\text{peso de la bolsa} + \text{materia fresca}) - (\text{peso de la bolsa} + \text{residuo})}{\text{materia fresca} * (X \% \text{materia seca}/100)}$$

En el caso del análisis de almidón se utilizó un método enzimático mediante un kit comercial (Total Starch Assay Kit K-TSTA 07/11, Megazyme, Bray, Irlanda). La muestra se molió a 0,05 mm, se pesaron por duplicado 0,100 g de la misma, y se introdujeron en tubos de vidrio roscados, colocándolos en una gradilla.

Después, se llevaron los tubos al baño de incubación fijando la temperatura a 50°C. A continuación, se añadió a cada tubo 200 µl de etanol al 80% y se voltearon. Seguidamente, se vertió a cada tubo 2 ml de KOH y un imán agitador. Mientras tanto, se iban introduciendo los tubos sueltos a un baño con hielo, y se agitaron mediante agitador magnético durante 20 min. Al sacar los tubos del hielo, se mantuvieron en agitación mediante una gradilla mientras se añadían, siguiendo el orden, los siguientes reactivos: 8 ml de tampón acetato sódico 1,2M (pH: 3,8), 100 µl de amilasa y 100 µl de amiloglucosidasa.

Tras mezclar bien los reactivos, se incubaron los tubos en baño de agua a 50°C durante 30 min, manteniendo la agitación horizontal continua, y volteándolos cada 10 min. Posteriormente, se llevó cada tubo a un matraz aforado de 100 ml y realizaron tres lavados del tubo y de la tapa, utilizando el agua destilada para enrasar.

De cada matraz, se vertió una alícuota de 5 ml a un tubo de 10 ml con tapa, y se centrifugó durante 10 min a 1800 x g. De cada tubo, se transfirió a un tubo de vidrio 100 µl de sobrenadante, por duplicado, consiguiendo 10 tubos en total, además de crear un blanco (100 µl de agua destilada) y un patrón de glucosa (100 µl de la disolución estándar) en los tubos de ensayo anteriores, con dos copias para cada uno. Por último, a los 14 tubos se les añadió 3 ml del reactivo GOPOD y se voltearon, para seguidamente colocar los tubos en una gradilla en forma de Z y taparlos con una canica, incubándolos a en el baño de agua durante 20 min a 50°C. Se voltearon y se colocaron 200 µl en una microplaca para leer la absorbancia a 510 nm.

Para el análisis del porcentaje de almidón total se utilizó la siguiente fórmula:

$$\%Almidón: \\ = \frac{Abs\ muestra - Abs\ blanco}{Abs\ patrón - Abs\ blanco} \times \frac{1mg\ glucosa}{ml} \times 100ml \times \frac{162mg\ almidón}{180mg\ glucosa} \times \frac{1}{mg\ muestra \times \%MS} \times 10^4$$

Por último, para analizar la fibra neutro detergente (FND) se utilizó un ANKOM 220 analizador de fibra (49). El primer paso fue la preparación de las muestras, de forma que se pesó 0,5 g de cada muestra secada al aire y molida a 1 mm en una bolsa de filtrado anti-humedad, sellada posteriormente por calor. Además, se preparó una muestra blanco para corregir la digestión más adelante. Se utilizó la agitación para distribuir la muestra homogéneamente en la bolsa, y se procesaron en el suspensor de muestras. Como algunas muestras contenían más de un 5% de grasa, se usó acetona para extraerla. Se cubrieron las bolsas de acetona, se agitaron 10 veces y se dejaron reposar 10 min. Se repitió con acetona fresca y se eliminó la acetona. Se dejaron secar 5 min en un tamiz metálico.

Como sólo se procesaron 9 muestras, se añadió 100 ml de detergente a cada una. Posteriormente, se añadió 20 g de sulfito sódico en el depósito de reacción, así como 4 ml de la enzima alfa-amilasa estable al calor, mientras se llevaba a cabo la reacción. Se colocaron todas las muestras mediante el uso de suspensor en el depósito de digestión, y se puso en marcha en modo agitación y calefacción 75 min. Transcurrido este tiempo, se extrajeron las muestras y se les realizaron 3 lavados, de 3-5 min, en los que los dos primeros se realizaron con 2000 ml de agua (a 90-100°C) y 4 ml de alfa-amilasa. Después se cerró la tapa y se agitó. A continuación, se eliminó el agua y se situaron las muestras en un vaso de acetona durante 3 min, para seguidamente sacarlas y eliminar los restos de acetona (y dejar evaporar el resto). Por último, se dejaron secar las muestras a 105°C durante 2 h. Se sacaron las bolsas, se colocaron en las bolsitas anti-humedad y se eliminó el aire. Se dejaron enfriar y se pesaron.

Para determinar el porcentaje de FND se usó la siguiente ecuación:

$$\%FND = \frac{100 \cdot (W_3 - (W_1 \cdot C_1))}{W_2}$$

$W_1$  = Peso bolsa (tara).  $W_2$  = Peso de la muestra, expresado en base a materia seca.  $W_3$  = Peso después del proceso de extracción (fibra y bolsa).

$C_1$  = Corrección del blanco de la bolsa

Además de los análisis laboratoriales de composición analizada del pienso, se calculó el contenido en aminoácidos digestibles de la dieta (usando los datos del análisis estimado) en función del concepto de proteína ideal. Para los cálculos se utilizaron las fórmulas publicadas por FEDNA (47):

Para la lisina:  $\%lys * 0,87 = \%lys\ DIS$  (%Lisina Digestible Estandarizada).

$$(\%Lys\ DIS * 1000)/100 = lys\ DIS/kg\ pienso$$

Para los AA restantes:  $AA * 0,87 = \%AA\ DIS$

$$(\% AA\ DIS * 1000)/100 = Xgr\ AA\ DIS/kg\ pienso$$

$$(X / lys\ DIS) * 100 = \% de\ X\ DIS\ en\ función\ de\ lys\ D$$

#### 4.2.4. Estudio de excreción de N

Con la finalidad de tener una idea de la excreción de N durante la fase pre-estáter en los dos grupos de lechones estudiados, y poder compararlos, se estimó la excreción de N durante la fase pre-estárter. El estudio fue muy simple, de forma que solo se consideró el contenido de PB en la ración y la excreción de N estimada (no teniendo en cuenta la excreción endógena). Se siguió un método similar al publicado por BREF (42), aunque utilizando valores medios aportados por la bibliografía, para la retención de N en la fase de transición del lechón.

En uno de los estudios consultados (31), la retención de N en lechones en la etapa de transición era de aprox. 26,4% del N aportado por la dieta. Por lo tanto, un 73,6% del mismo se excreta con los purines y en forma de gas. Para los cálculos, se tuvo en cuenta, además del contenido proteico de las dietas testadas, el CMD y la duración del periodo.

Así pues, para cada grupo de animales (control y alto en PB), el cálculo del N excretado se llevó a cabo mediante las fórmulas detalladas a continuación:

$$(g\ N/kg\ de\ pienso * 73,6\% N\ excretado)/100 = g\ N\ excretado/kg\ pienso$$

$$g\ N\ excretado\ por\ lechón/día = g\ N/kg\ de\ pienso * CMD/lechón$$



#### 4.2.5. Análisis estadístico

Los datos productivos fueron analizados mediante un modelo lineal general (GLM) usando el paquete estadístico SAS (2016) (50). El modelo incluyó el contenido proteico de la dieta pre-estárter (18,2 vs 16,7%) como variable independiente y, como variables dependientes, el peso, la GMD, el CMD y el IC. La unidad experimental fueron 2 corrales con 16 animales cada uno (32 animales en total) y cada tratamiento experimental se replicó 8 veces. Se consideró que las diferencias eran significativas cuando el valor de P fue  $<0,05$ .

### 4.3. Resultados y discusión

#### 4.3.1. Análisis de los piensos

En la Tabla 4 se muestra la composición analizada de los piensos experimentales. En general, la composición analizada de todos los piensos se ajusta a la formulación. Además, el valor nutricional del pienso control pre-estárter, el estándar y el pre-cebo cumple las recomendaciones de FEDNA (47) para lechones de esas edades.

**Tabla 4.** Composición analizada de los piensos experimentales (en base a materia fresca).

Nutriente, %	Pre-estárter		Estárter	Pre-cebo
	Control	Alta PB		
Materia seca	89,8	89,7	90,2	88,8
Cenizas	5,19	5,17	4,99	4,02
<b>Proteína bruta</b>	<b>16,7</b>	<b>18,2</b>	<b>16,7</b>	<b>14,7</b>
Fibra neutro detergente	6,65	7,20	9,51	12,1
Extracto etéreo	4,42	4,97	6,08	5,83
Almidón	42,9	38,5	41,7	44,5

Se puede apreciar que el nivel de PB en el pienso experimental pre-estárter contenía un 1,5% más de PB que el pienso control. Esta diferencia se debía al incremento del nivel de harina de pescado (Tabla 2) (1% en la dieta control, 3% en la experimental), en detrimento de otros ingredientes ricos en PB, como la proteína de trigo hidrolizado y la harina de soja.

La harina de pescado es una fuente proteica de origen animal. Las fuentes de proteína animal son muy positivas en una fase tan delicada para el lechón como es el post-destete, porque aumentan el consumo de alimento (1), tienen gran digestibilidad (14) y reducen el riesgo de desarrollar enfermedades como la colibacilosis (51). La harina de pescado, en concreto, es un ingrediente caro pero muy interesante debido a su alta calidad. Por un lado, tiene un elevado contenido proteico (70%) y, por el otro, su PB es de muy alta digestibilidad (89%) (13).

Además de la harina de pescado, también suelen emplearse el plasma porcino y el hidrolizado de intestino. Las tres se incluyen en estas dietas. Son varios los estudios que coinciden en que la mejora digestiva que generan acarrea mayores ganancias de peso y mejores eficiencias alimentarias (18,19).

La digestibilidad calculada de los AA de los piensos se ajusta al concepto de proteína ideal de FEDNA (47). Partimos de que el contenido estimado en Lys DIS/kg de los piensos utilizados fue el siguiente; pre-estárter control: 11,40 Lys DIS/kg; pre-estárter alto proteína: 11,75 Lys DIS/kg, estándar: 10,70 g Lys DIS/kg; pre-cebo: 9,70 g Lys DIS/kg. El perfil aminoácido proporcionado en ambas dietas cubría las necesidades de lechones de esas edades (47).

#### 4.3.2. Rendimientos productivos

Antes de nada, mencionar que las tasas de mortalidad fueron muy reducidas, no superando al final del experimento el 4% en ninguno de los grupos estudiados, ni tampoco hubo problemas patológicos. Además, las muertes no se concentraron en ninguno de los tratamientos sino que se produjeron aleatoriamente. Los resultados del efecto de la PB en los rendimientos productivos de los lechones se expresan en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Efecto del contenido proteico de la dieta pre-estárter en los rendimientos productivos de lechones en transición.

		Dieta		EEM	Significación
		Control	Alta en PB	(n=8)	
Peso inicial (kg)		5,25	5,20	0,0751	NS
Peso final (kg)		32,76	33,14	0,5823	NS
Pre-estárter	<b>GMD (g/d)</b>	<b>0,200</b>	<b>0,225</b>	0,0065	<b>0,021</b>
	CMD (g/d)	0,289	0,287	0,0029	NS
	<b>IC</b>	<b>1,75</b>	<b>1,29</b>	0,0481	<b>0,045</b>
	Mortalidad (%)	2,10	1,47		
Estárter	GMD (g/d)	0,385	0,395	0,0143	NS
	CMD (g/d)	0,670	0,688	0,0192	NS
	IC	1,75	1,75	0,0280	NS
	Mortalidad (%)	1,47	0		
Pre-cebo	GMD (g/d)	0,575	0,570	0,0103	NS
	CMD (g/d)	1,113	1,113	0,0270	NS
	IC	1,93	1,95	0,0380	NS
	Mortalidad (%)	0,38	1,10		
Global	GMD (g/d)	0,440	0,448	0,0086	NS
	CMD (g/d)	0,776	0,785	0,0173	NS
	IC	1,76	1,75	0,0173	NS
	Mortalidad (%)	3,68	2,57		

EEM: Error estándar de la media. NS: P>0,05

Los dos grupos de animales comenzaron el experimento con un peso similar ( $P>0,05$ ). En el periodo pre-estárter (la fase propiamente experimental) los animales que recibieron la dieta alta en PB crecieron significativamente más rápido ( $P=0,021$ ) que los que recibieron la dieta control. El CMD de ambos grupos fue muy parecido ( $P>0,05$ ) y así, el IC del grupo que consumió el pienso más proteico fue menor (mejor) que el del grupo control ( $P=0,045$ ).

En el periodo estándar, no se observaron diferencias entre grupos en la GMD, en el CMD o en el IC ( $P>0,05$ ) y lo mismo ocurrió durante el periodo de pre-cebo ( $P>0,05$ ).

En cuanto al periodo global de la transición, el hecho de haber consumido durante el periodo pre-estárter una dieta más o menos proteica no afectó a ninguno de los parámetros productivos estudiados ( $P>0,05$ ), así como tampoco generó un aumento de mortalidad final.

De todos estos resultados se deduce que la utilización de un nivel alto de PB en el pienso pre-estárter mejoró los parámetros productivos de la explotación, coincidiendo con las conclusiones de varios estudios (3, 4, 6). Sin embargo, en esos trabajos, el efecto perduró, mientras que en el presente estudio se diluyó en el tiempo, puesto que las diferencias se mitigaron en las fases posteriores (estárter y pre-cebo). Podría deberse a que las condiciones ambientales y de manejo fueron especialmente buenas, por tratarse de una granja experimental, y el grupo control mantuvo un estatus productivo muy bueno también. De hecho, la mortalidad de los lechones en esta fase suele ser de un 6-10% (52), mientras que en el éste estudio fue muy inferior. Así pues, esto podría estar relacionado con un buen desarrollo intestinal de los animales, debido a que no hubo ningún proceso patológico reseñable en ningún momento de la transición. Este resultado es comparable al obtenido por varios autores, que afirmaron que usar un nivel alto de PB en el pienso de pre-estárter no tiene por qué significar un aumento de recuento de bacterias patógenas en los lechones (6, 53, 54).

En contraste, hay estudios que han relacionado el aumento del contenido proteico de la dieta y los procesos patológicos entéricos (p ej. 10, 11, 8, 45, 55), sobre todo cuando los animales son sometidos a infecciones con *E.coli* (56-58). Lo explican porque un aumento en la PB de la dieta causa un aumento del amoniaco en el intestino, que tiene repercusiones tanto en la microbiota intestinal (no siempre negativas) como a nivel ambiental. Asimismo, estos estudios relacionan una elevada PB del pienso con mayor fermentación de proteína en el intestino delgado, dando lugar a mayor proliferación de bacterias con potencial patógeno.

Cabe mencionar que aunque en la mayoría de los casos un aumento en el contenido de PB del pienso se asocia a un aumento de su precio (especialmente a partir del año 2007) (30), hay otros factores que también afectan al precio final, como por ejemplo el tipo de materias primas empleadas, su valor nutricional, su disponibilidad, etc. De hecho, aumentar el contenido en PB del pienso no siempre resulta económicamente negativo. Tras consultarlo, en los últimos años, las variaciones de precio entre la dieta baja en proteína y la normal habrían fluctuado desde -3,86 euros/plaza/año hasta 1,61 euros/plaza/año (30). Otro autor consultado (59) estableció que dependiendo del precio en el mercado de las materias primas bajas en proteínas y del precio de los AA sintéticos, la reducción de PB en el pienso podía disminuir o incluso aumentar los costes de producción.

#### *4.3.3. Estudio de excreción de N*

La excreción de los grupos control y experimental fue de 5,68 y 6,15 g N/lechón/día, respectivamente. Así, durante la fase pre-estárter, el grupo control excretó un total de 73,88 g N/lechón/fase, mientras que el grupo experimental excretó 79,96 g N/lechón/fase. Esto supone un incremento de 6,08g N/lechón/fase del grupo experimental frente al control, explicado por el aumento de un 1,5% el nivel de PB de la dieta. La mayoría de los autores consultados coinciden en estos resultados, ya que un incremento del nivel de PB en el pienso aumenta el nivel de excreción de N por parte del animal (30, 33, 41- 43).

La estrategia de aumentar el nivel de PB en la dieta es controvertida. Por un lado, es primordial la productividad de la granja pero, por el otro, la ganadería sostenible es fundamental, especialmente en regiones en las cuales la producción intensiva de cerdos constituye un verdadero problema ambiental. Numerosos estudios coinciden en que reducir las emisiones de amoníaco y N a la atmósfera es crucial para evitar fenómenos de eutrofización y acidificación de las aguas (30,42). De hecho, la normativa ambiental cada vez es más exigente respecto a las emisiones de N en los purines, de forma que en muchas ocasiones la adopción de medidas para reducir la PB del pienso es esencial para cumplir con dicha normativa. De hecho, en Alemania a partir del año 2002, los planes de reducción de N pasaron a ser obligatorios para granjas de producción intensiva, y en otros países como Francia, han sido ampliamente adoptadas (en 1996 se propusieron las medidas, en 1997 un tercio de las explotaciones de cebo ya las habían adoptado) (42). Por todo ello, a la hora de formular los piensos, se debe encontrar un equilibrio entre los objetivos ambientales y los productivos (nunca se ha de alterar el nivel de AA necesarios), teniendo muy en cuenta la economía de la explotación.

## 5. EXPERIMENTO 2

### 5.1. Objetivo

En el segundo experimento, el objetivo específico fue estudiar el efecto del adelanto del momento de cambio de pienso de engorde a finalización sobre los rendimientos productivos y la excreción de N.

### 5.2. Material y Métodos

#### 5.2.1. Manejo de los animales, dietas testadas y diseño experimental

Se trata de un ensayo focalizado en el final del engorde, por lo que se utilizaron los animales del primer experimento al no detectar diferencias significativas en el peso entre los grupos de animales al final de la transición. Las instalaciones experimentales también fueron las mismas, al tratarse de una nave tipo *wean-to-finish*. Las dietas suministradas en la fase de engorde y de finalización fueron comunes para todos los animales y cumplían con las recomendaciones de FEDNA (2013) (47) para cerdos de esas edades. Su composición estimada de ingredientes y nutrientes se muestran en las Tablas 6 y 7.

**Tabla 6.** Composición en ingredientes estimada de los piensos experimentales.

Ingrediente, %	Cebo	Finalización
Cebada	63,07	31,50
Harina de soja 47	16,90	12,74
Trigo	10,00	45,00
Grasa 3-5°	3,56	1,50
Aceite de palma	-	2,30
Torta de girasol	-	4,27
Guisante prim.	3,28	-
Sepiolita	1,00	-
Carbonato cálcico	0,53	0,81
L-lisina Polvo	0,33	-
L-lisina Líquido	-	0,60
Treonina	0,14	0,12
DL-metionina 99	0,09	-
Metionina hidrox.	-	0,08

**Tabla 7.** Composición nutricional estimada de piensos experimentales (en base a MS).

Nutriente, %	Cebo	Finalización
MS	90,16	89,91
PB	16,75	15,57
Almidón	41,67	44,19
Cenizas	5,21	4,04
FB	3,96	3,85
FND	13,76	12,83
FAD	4,84	4,77
EE	5,25	5,65
Lys dc	0,93	0,85
Met dc	0,30	0,27
M+C dc	0,54	0,50
Thr dc	0,60	0,54
Trp dc	0,17	0,15
EN, kcal/kg	2.400	2.425

MS: Materia seca. PB: Proteína bruta. FB: Fibra bruta.  
FND: Fibra neutro detergente. FAD: Fibra ácido detergente. EE: Extracto etéreo. EN: Energía neta.

Los cerdos siguieron distribuidos igual que en el primer experimento, en 8 salas de 4 corrales cada una, con 16 animales por corral. El experimento comenzó cuando los cerdos pesaban aprox. 33 kg PV y finalizó cuando alcanzaron aprox. 106 kg PV.

Hubo dos tratamientos experimentales en base al momento de cambio del pienso de crecimiento a finalización; aprox. 85 kg PV (control) vs aprox. 65 kg PV (precoz). Hay que matizar que dicho adelanto suponía también adelantar el paso del suministro de un pienso más proteico (el de crecimiento tenía 15,9%) a uno menos proteico (el de finalización tenía 15,5%). Los piensos se fabricaron en UVESA en forma de gránulo. El suministro de alimento y agua fue *ad libitum* durante todo el ensayo.

Cada tratamiento se replicó 8 veces, estando constituida la réplica por dos corrales de 16 cerdos/corral (uno de machos y uno de hembras) que recibían la misma dieta, puesto que compartían comedero. Se tomaron muestras de cada tipo de pienso y se trasladaron al laboratorio de la Unidad de Nutrición Animal de la Facultad de Veterinaria donde se molieron a 1 mm y se conservaron a temperatura ambiente hasta su análisis laboratorial.

#### 5.2.2. Control de los rendimientos productivos

Se tomó el peso de los animales en cuatro ocasiones: antes de empezar a administrar el pienso de crecimiento, aprox. a los 65 kg PV (momento en que se cambió a la mitad de ellos al pienso de finalización), aprox. a los 85 kg PV (momento en que se cambió de pienso a la otra mitad) y al finalizar este último (el día previo a su sacrificio). Así, se pudo calcular la GMD para cada fase y para el periodo global. Para realizar los pesajes, se utilizó la misma báscula que en el ensayo anterior. Asimismo, se controló el CMD de la misma forma, y con ambos parámetros se calculó el IC. También se controló diariamente la mortalidad y la presencia de posibles patologías.

#### 5.2.3. Análisis laboratoriales

Las determinaciones laboratoriales de la composición de los piensos se realizaron siguiendo los procedimientos detallados en el experimento 1. También se calculó el contenido en AA digestibles del pienso (usando datos del análisis estimado) para compararlos con los valores recomendados por FEDNA (2013) (47) de acuerdo al concepto de proteína ideal.

#### 5.2.4. Estudio de excreción de N

El estudio de excreción de N se llevó a cabo de la misma forma que en el primer experimento, pero utilizando los datos propuestos por el BREF (2003) (41) y corroborados por BREF 2017 (42) para la capacidad de retención de N en animales de cebo y finalización. A fin de ser lo más específicos posible (cabe recalcar que es un estudio muy simple) para cada periodo del cebo se utilizaron los valores de retención de N que más se ajustaron; en el periodo 1 y 2 (de 33kg a 65kg, y de 65kg a 87kg respectivamente) la retención de N empleada fue de un 61,9%, mientras que en el periodo 3 se usó un 65,9% de retención de N. Por último, para el periodo global (33-106kg) se empleó un 64% de retención de N (media) para realizar los cálculos.

#### 5.2.5. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante un GLM (modelo lineal general) usando el paquete estadístico SAS (2016) (50). El modelo incluyó el momento de cambio de pienso de crecimiento a finalización (85 vs 65 kg PV) como variable independiente y, como variables dependientes, el peso, la GMD, el CMD y el IC. La unidad experimental fueron 2 corrales con 16 animales cada uno (32 animales en total) y cada grupo (control y precoz) se replicó 8 veces. Se consideró que las diferencias eran significativas cuando el valor de P fue  $<0,05$  y que había una tendencia a la significación cuando  $0,5 < P < 0,10$ .

### 5.3. Resultados y discusión

#### 5.3.1. Análisis de piensos

En la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos mediante el análisis laboratorial de los piensos experimentales.

**Tabla 8.** Composición analizada de los piensos experimentales (en base a materia fresca).

Nutriente (%)	Engorde	Finalización
Materia seca	90,1	89,9
Cenizas	4,26	4,04
Proteína bruta	15,9	15,5
Fibra neutro detergente	10,6	9,8
Extracto etéreo	5,34	5,63
Almidón	41,7	42,4

Los resultados obtenidos mostraron que el pienso de engorde resultó tener finalmente algo menos de PB que el teórico (15,9 vs 16,74%) y el de finalización presentó menos FND que el teórico (9,8 vs 12,83%), pero siempre es asumible algún desvío, pudiendo deberse también al método de análisis empleado. En general, se ajustan a las recomendaciones de FEDNA (47) para cerdos de esas edades.

El cálculo del perfil aminoacídico de los piensos parte de que el contenido estimado en Lys DIS/kg de los piensos utilizados fue el siguiente; engorde: 9,40 Lys DIS/kg; finalización: 8,44 g Lys DIS/kg. El perfil aminoácido proporcionado con ambas dietas cubría las necesidades de cerdos de esas edades (47).

Cumplir los requerimientos de los cerdos en AA es vital para que los animales tengan una respuesta inmune competente, así como para que presenten unos óptimos parámetros de crecimiento en estas fases (11). En especial, la lisina ha demostrado jugar un papel crucial en el desarrollo de estos animales (25, 27, 60) mientras que otros AA como la valina (26, 61) o el triptófano, también parecen guardar estrecha relación con los parámetros productivos.

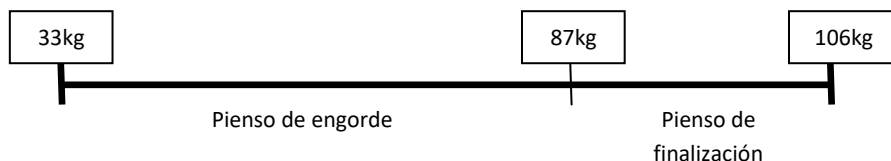
Sin embargo, hay cierta controversia respecto a qué aminoácidos resultan limitantes para el crecimiento porcino. Recientes estudios defienden que el concepto de proteína ideal de los piensos debería incluir los AA no esenciales (sintetizados a partir de la proteína de origen no específico) porque hay evidencias de que la capacidad de síntesis de estos AA no es suficiente para cubrir los requerimientos (22,62). En el caso del presente ensayo, tanto la dieta experimental como la control, se adaptaron a los perfiles aminoacídicos propuestos por FEDNA 2013 (47), tanto para AA esenciales como a los considerados no esenciales. Por ello, este factor no afectó a los resultados obtenidos en los rendimientos productivos.

#### *5.3.2. Rendimientos productivos*

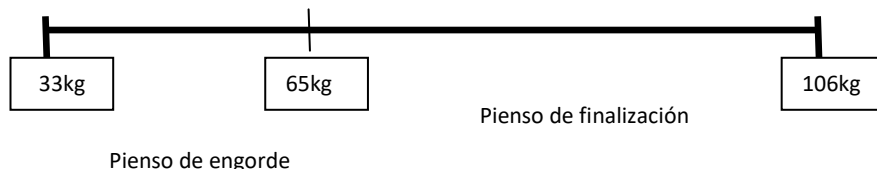
Con el fin de proporcionar más información, se han evaluado los rendimientos productivos de dos formas: por tipos de pienso y por periodos. El esquema donde se detalla el diseño experimental analizándolo “por tipos de pienso” se muestra en la Figura 3 y los resultados se recogen en la Tabla 10.



Grupo control:



Grupo precoz:



**Figura 3.** Esquema del modo de expresión de resultados por piensos.

Durante el periodo de engorde, el grupo precoz presentó menor GMD ( $P=0,001$ ) y menor CMD ( $P=0,0001$ ) que el grupo control, pero el IC no se vio afectado ( $P>0,10$ ). Durante el periodo de finalización, no hubo diferencias significativas entre los grupos, ni en crecimientos, ni en ingestión de alimento, ni en conversión alimenticia ( $P>0,10$ ).

En el periodo global (toda la fase de cebo), el grupo control tendió a crecer más rápido ( $P=0,073$ ) y fue más eficiente desde el punto de vista alimentario ( $P=0,009$ ) sin verse afectado el consumo de pienso ( $P>0,10$ ). En la Tabla 10 se observa que los dos grupos comenzaron el experimento con un peso similar ( $P>0,10$ ).

**Tabla 10.** Resultados productivos de los cerdos durante el cebo (expresados por piensos).

	Cambio a pienso de finalización		EMM (n=8)	Significación
	Control (a 87 kg)	Precoz (a 65 kg)		
Peso inicial (kg)	32,2	33,5	0,553	NS
Peso final (kg)	106,4	105,6	1,043	NS
Periodo de engorde				
<b>GMD (kg/d)</b>	<b>0,923</b>	<b>0,859</b>	0,011	<b>0,001</b>
<b>CMD (kg/d)</b>	<b>1,88</b>	<b>1,71</b>	0,022	<b>0,0001</b>
IC	2,03	1,99	0,028	NS
Periodo finalización				
GMD (kg/d)	0,969	0,966	0,019	NS
CMD (kg/d)	2,50	2,40	0,052	NS
IC	2,59	2,48	0,055	NS
Periodo global				
<b>GMD (kg/d)</b>	<b>0,941</b>	<b>0,920</b>	0,008	<b>0,073</b>
CMD (kg/d)	2,06	2,10	0,029	NS
<b>IC</b>	<b>2.19</b>	<b>2.29</b>	0.021	<b>0.009</b>

EMM: Error estándar de la media. NS:  $P>0,10$ .

La forma de estudiarlo por tipos de pienso está muy condicionada por la edad de los animales, puesto que el grupo control realizó el cambio de pienso con 3 semanas más de edad (pesaba 87 kg PV) que el grupo precoz (que pesaba 65 kg). Ha sido demostrado por otros autores (28, 63) que la edad y el peso influyen en la capacidad de crecimiento y eficiencia alimentaria de los animales. Aún así, en el periodo global sí que se observa que el cambio de pienso adelantado penalizó al grupo precoz, empeorando sus parámetros productivos respecto al grupo control.

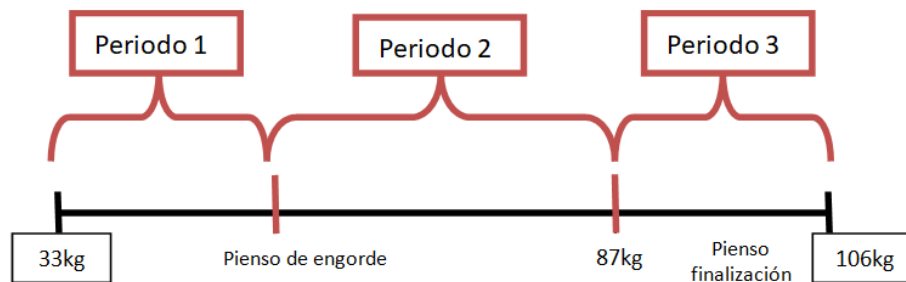
El esquema donde se detalla el diseño experimental analizándolo “por periodos” se muestra en la Figura 4 y los resultados se recogen en la Tabla 11. El primer periodo comprende desde el inicio del suministro del pienso de engorde (con 33 kg PV) hasta el cambio de pienso del grupo precoz (con 65 kg PV). El segundo periodo abarca desde el momento anterior hasta el cambio de pienso del grupo control (con 87 kg PV) y el tercer periodo discurre desde el momento anterior hasta el final de la prueba (con 106 kg PV). El periodo global, por tanto, abarca toda la fase de cebo (desde los 33 hasta los 106 kg PV).

**Tabla 11.** Resultados análisis productivo de fase cebo y finalización (expresados por periodos).

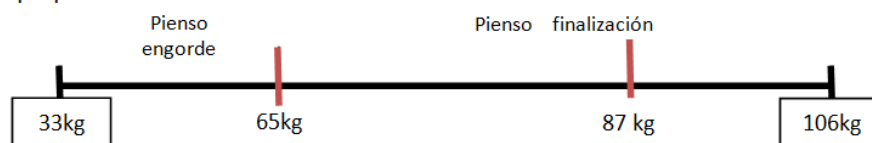
	Cambio a pienso finalización		EMM (n=8)	Significación
	Control (a 87 kg)	Precoz (a 65 kg)		
Periodo 1				
GMD(kg/d)	0,857	0,859	0,011	NS
CMD(kg/d)	1,71	1,71	0,027	NS
IC	2,00	1,99	0,032	NS
Periodo 2				
<b>GMD(kg/d)</b>	<b>1,017</b>	<b>0,965</b>	<b>0,014</b>	<b>0,021</b>
CMD(kg/d)	2,50	2,40	0,045	NS
<b>IC</b>	<b>2,59</b>	<b>2,48</b>	<b>0,052</b>	<b>0,046</b>
Periodo 3				
GMD(kg/d)	0,969	0,963	0,025	NS
CMD(kg/d)	2,51	2,62	0,054	NS
IC	2,60	2,73	0,064	NS
Periodo global				
<b>GMD(kg/d)</b>	<b>0,941</b>	<b>0,920</b>	<b>0,007</b>	<b>0,073</b>
CMD(kg/d)	2,06	2,10	0,029	NS
<b>IC</b>	<b>2,19</b>	<b>2,29</b>	<b>0,021</b>	<b>0,008</b>

NS: P>0,10.

Grupo control:



Grupo precoz:



**Figura 4.** Esquema del modo de expresión de resultados por periodos.

En la Tabla 11 se aprecia que durante el periodo 1, no hubo efecto alguno ( $P>0,10$ ), lo que era esperable puesto que los 2 grupos de animales se alimentaron a base del mismo tipo de pienso (el de engorde) y no hubo ningún factor que pudiera influir en los resultados. En el segundo periodo, sí que se observaron diferencias en la GMD, siendo mayor en el grupo control que en el precoz (0,965 vs. 1,017 g/d;  $P=0,021$ ). El CMD fue similar entre los grupos ( $P>0,10$ ), por lo que el IC resultó menor en el grupo control que en el precoz (2,39 vs. 2,22;  $P=0,046$ ).

En el tercer periodo, no se observaron efectos en ningún parámetro ( $P>0,10$ ). Por último, en el periodo global, los resultados coinciden prácticamente con los presentados anteriormente cuando se hizo el estudio por piensos.

De todo esto se deduce que adelantar el cambio de pienso de engorde a finalización empeoró los parámetros productivos. Hay que tener en cuenta que el pienso de finalización tenía menor contenido proteico, que es lo habitual, y un adelanto de 3 semanas acabó perjudicando el crecimiento, así como la conversión alimentaria. Estos resultados coinciden con los obtenidos por otros autores (31). Es probable que adelantar el pienso del grupo precoz haya supuesto un desafío demasiado grande, por lo que sería conveniente realizar más estudios cambiando el pienso a pesos algo más altos (superiores a 65 kg). De hecho, algunos autores han concluido que adelantar el pienso de finalización no tiene efectos negativos en los parámetros estudiados en este ensayo, a no ser que la limitación de PB sea muy marcada (23, 36).

Además, se han encontrado trabajos de diferentes autores que analizan el impacto de la cantidad de PB en el precio del pienso. Uno de éstos estudios indica que a partir del año 2007, reducir el contenido de PB del pienso sale rentable (30), puesto que el precio del pienso se reduce. Asimismo, un trabajo reciente (49) demostró que, en cerdos sacrificados a 120 kg, el adelanto de la dieta de finalización (manteniendo el perfil de AA correcto) desde 100 kg (control) a 80 kg resultó rentable. Sin embargo, los autores mencionados previamente admiten que la variabilidad de precio en materias primas y en AA sintéticos puede hacer que el uso de pienso con baja PB no salga rentable. De hecho, otro estudio (30) indica que la diferencia de precios entre los piensos normales y bajos en PB son variables (rango de unos -3,86 a 1,61 euros/plaza/año) por lo que existe mucha variabilidad en la rentabilidad de ésta estrategia. Por último, cabe mencionar que hay autores que explican que la aplicación de estrategias de reducción de PB puede suponer un incremento del precio del pienso de entre 1-1,5% sobre el coste total del mismo (41). Por lo tanto, son varios los factores que hay que tener en cuenta si se plantea, desde un punto de vista comercial, poner en marcha esta práctica.

#### *5.3.3. Estudio de excreción de N*

En cuanto al estudio de excreción de N, en el periodo 1 del experimento (33-65 kg PV) la excreción de los grupos control y experimental fue de 16,57g N/cerdo/día. Así, durante este periodo, cada grupo excretó 613,25 g N/cerdo.

En el periodo 2 (65-87 kg PV), la excreción de N por parte del grupo precoz fue de 21,73g N/cerdo/día (0,50 kg N/cerdo/toda la fase) mientras que la excreción por parte del grupo control fue de 21,90 g N/cerdo/día (0,46kg N/cerdo/toda la fase).

Así, hubo una diferencia de 0,04 kg N/cerdo/fase, siendo mayor la excreción del grupo experimental que la del control a lo largo del periodo 2. Sin embargo, la excreción por cerdo y día fue menor en el grupo precoz que en el control (diferencia de 0,17 g N/cerdo/día). Esta contrariedad puede explicarse porque el grupo precoz pasó dos días más en el experimento antes de alcanzar el peso de sacrificio (debido a su menor GMD), pero en general, cabe decir que la excreción por cerdo y día fue menor en el grupo bajo en proteína.

A continuación, en el periodo 3 (87-106kg PV), la eliminación de N del grupo precoz fue de 22,16g N /cerdo/día (0,42kg N/cerdo/fase). Por su parte, el grupo control excretó 21,23g N /cerdo/día (0,40kg N/cerdo/fase). Por lo tanto, la diferencia entre los dos grupos fue de 0,93g N/cerdo/día, por lo que a lo largo de todo el periodo 3, el grupo precoz excretó 0,02kg N/cerdo/fase (2g N/cerdo/fase) más que el grupo control. No obstante, hay que tener en cuenta que el CMD del grupo precoz fue mayor que el del grupo control en éste periodo.

Por último, en el periodo global del cebo (33-106kg) el nivel de excreción de N del grupo experimental fue de 19,36g N/cerdo/día. Por otro lado, el grupo control excretó 19,18g N/cerdo/ día lo que supuso una diferencia entre grupos de 0,18g N/cerdo/día. Sin embargo, tal y como ya se ha mencionado con anterioridad, hay que tener en cuenta que la duración de los dos grupos no fue la misma (79 días para precoz, 77 días para control), y así como el CMD tampoco fue igual.

Multitud de autores han concluido que un menor contenido en PB del pienso es capaz de reducir la excreción de amoniaco (29, 31, 37, 43) y N total en purines (35, 41, 43), por lo que los resultados de este estudio eran esperables.

## **6. CONCLUSIONES**

Bajo las condiciones en que se desarrollaron los experimentos, se puede concluir que:

1. El aumento en el nivel de proteína bruta en el pienso pre-estárter (de 16,7 a 18,2%) tuvo efectos beneficiosos en los índices productivos de los lechones, efectos que desaparecieron en la fase estándar.
2. Sin embargo, ésta técnica supuso una mayor excreción de N por parte del grupo experimental, referido al grupo control.
3. El adelanto del momento de cambio del pienso de engorde a finalización (de 87 a 65 kg) repercutió negativamente en los parámetros productivos de los cerdos, probablemente por tratarse de un excesivo adelanto.
4. Sin embargo, consiguió una reducción en la excreción de N.

De todo esto se deduce que los aportes de proteína en las dietas del porcino, ya sean lechones en transición o cerdos en cebo, deben ajustarse lo máximo posible a los requerimientos de los animales para cada fase. Es la forma de llegar a un consenso entre lograr óptimos rendimientos productivos y sostenibilidad ambiental.

## **CONCLUSIONS**

Under the conditions under which the experiments were carried out, it can be concluded that:

1. The increase in the level of raw protein in the pre-stored feed (from 16,7 to 18,2%) had beneficial effects on the productive indexes of piglets, effects that disappeared in the sterile phase. However, this technique resulted in higher excretion of N by the experimental group, referring to the control group 3.
3. The increase in the rate of change of the fattening feed to completion (from 87 to 65 kg) had a negative impact on the production parameters of pigs, probably because it was an excessive advance. However, it achieved a reduction in the excretion of N.

It follows from all this that the protein intake in the diets of pigs, whether piglets in transition or pigs in growing stage, should be as close as possible to the requirements of the animals for each phase. It is the way to reach a consensus between achieving optimal yields and environmental sustainability.

## **7. VALORACIÓN PERSONAL**

La problemática ambiental derivada de las explotaciones de porcino es un tema crucial hoy en día, habiendo planes de reducción de emisiones cada vez más estrictos, con el objetivo de conseguir una ganadería más sostenible. No obstante, creo que es fundamental realizar estudios acerca del efecto que estas estrategias de reducción tienen sobre los parámetros productivos de la explotación, a fin de desmentir falsos mitos acerca de los requerimientos de proteína en los cerdos. Así, es fundamental que las empresas integradoras acaten las recomendaciones emitidas por las autoridades de forma voluntaria y con facilidades, de forma que cumplir con la normativa ambiental no suponga un esfuerzo excesivo.

En concreto, la estrategia de reducción de proteína en la dieta es una forma sencilla, aplicable, e incluso rentable de reducir las emisiones de nitrógeno y de amoníaco a la atmósfera y a los suelos, siempre y cuando se realice de forma correcta, manteniendo el perfil aminoacídico de los piensos (y a su digestibilidad) y estando atentos a las variaciones de los precios de los piensos. Para poder realizar esta técnica, y conocer a fondo todas las repercusiones ambientales, productivas, patológicas y económicas que conlleva, considero que deberían realizarse más estudios acerca del tema, en especial en la etapa de transición de los lechones, en cuanto a excreción de nitrógeno y rentabilidad de la estrategia.

En cuanto a mi formación académica, considero que la realización de éste trabajo me ha aportado nuevos conocimientos sobre la industria porcina, además de ayudarme a entender y aplicar mejor otros conceptos estudiados a lo largo de carrera.

Por un lado, ha supuesto un reto encontrar información acerca de algunas de las cuestiones planteadas, y por el otro, resumir el contenido de otros temas tratados y no desviarse no ha sido fácil. Por todo ello y por mucho más, quiero agradecer a mis tutores María Ángeles Latorre y Leticia Mur Palús por toda la ayuda prestada, así como a Jesús Artajona, el técnico de laboratorio, por ayudarme a realizar los análisis laboratoriales y explicarme las dudas que me iban surgiendo a lo largo del trabajo.

## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Heo JM, Opapeju FO, Pluske JR, Kim JC, Hampson DJ, Nyachoti CM. *Gastrointestinal health and function in weaned pigs: a review of feeding strategies to control post-weaning diarrhoea without using in-feed antimicrobial compounds*. J Anim Physiol Anim Nutr. 2012; 97(2):207-37.
2. Macfarlane S, Macfarlane GT. *Proteolysis and amino acid fermentation*. In *Human colonic bacteria: role in nutrition, physiology and pathology*. Scand J Gastroenterol [Internet]. 2016; 32:3-9. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00365521.1997.11720708>
3. Wellock IJ, Fortomaris PD, Houdjik JGM, Kyriazakis I. *The effect of dietary protein supply on the performance and risk of post-weaning enteric disorders in newly weaned pigs*. Anim Sci. 2006; 82:327-35.
4. Yue LY, Qiao SY. *Effects of low-protein diets supplemented with crystalline amino acids on performance and intestinal development in piglets over the first 2 weeks after weaning*. Livest Sci. 2008; 115: 144-52.
5. Bikker PA, Dirkzwager J, Fledderus P, Trevisi I, le Huerou-Luron, Lalles JP et al. *The effect of dietary protein and fermentable carbohydrates levels on growth performance and intestinal characteristics in newly weaned piglets*. J Anim Sci. 2006;84(12):3337-45.
6. Nyachoti CM, Omogbenigun FO, Rademacher M, Blank G. *Performance responses and indicators of gastrointestinal health in early weaned pigs fed low-protein amino acid-supplemented diets*. J Anim Sci. 2006; 84: 125-34.
7. Htoo JK, Araiza BA, Sauer WC, Rademacher M, Zhang Y, Cervantes M, et.al. *Effect of dietary protein content on ileal amino acid digestibility, growth performance, and formation of microbial metabolites in ileal and cecal digesta of early weaned pigs*. J Anim Sci [Internet]. 2007; 85(12):3303-12. Disponible en: <https://search-proquest-com.cuarzo.unizar.es:9443/docview/218121624/fulltextPDF/FB9DE6E983DC443BPQ/1?accountid=14795>
8. Heo JM, Kim JC, Hansen CF, Mullan BP, Hampson DJ and Pluske JR. *Feeding a diet with decreased protein content reduces indices of protein fermentation and the incidence of postweaning diarrhoea in weaned pigs challenged with an enterotoxigenic strain of Escherichia coli*. J Anim Sci Technol. 2009; 87: 2833–43.
9. Campbell JM, Crenshaw JD, Polo J. *The biological stress of early weaned piglets*. J Anim Sci Biotechnol. 2013; 4:19.
10. Pluske JR, Hopwood DE, Hampson DJ. *Relación entre la microbiótica intestinal, el pienso y la incidencia de diarreas, y su influencia en la salud del lechón tras el destete* [Internet]: Avances en nutrición de lechones en el periodo peridestete. XIX curso de especialización FEDNA; Oct 23 y 24 2003; Madrid, España. p. 93-107. Disponible en: [http://www.produccionbovina.com.ar/sanidad\\_intoxicaciones\\_metabolicos/infecciones/porcinos/08-microbiotica\\_intestinal.pdf](http://www.produccionbovina.com.ar/sanidad_intoxicaciones_metabolicos/infecciones/porcinos/08-microbiotica_intestinal.pdf)



11. Pluske JR. *Efecto del nivel de proteína y la inclusión en la dieta de aditivos seleccionados sobre el rendimiento de los cerdos después del destete*. [Internet]. Efecto del nivel de proteína y aditivos sobre rendimientos de cerdos. XXV curso de especialización FEDNA; Nov 5y6 2009; Madrid, España. p. 119-31. Disponible en: [http://fundacionfedna.org/sites/default/files/09CAP\\_VII.pdf](http://fundacionfedna.org/sites/default/files/09CAP_VII.pdf)
12. Pieper R, Tudela CV, Taciak M, Bindelle J, Perez JF, Zentek J. *Health relevance of intestinal protein fermentation in young pigs*. Anim Health Res Rev. 2016; 17(2): 137-47.
13. Padrosa JC. *I. Utilización de algunas fuentes proteicas en la alimentación de lechones en destete precoz*. Normas de formulación de piensos para lechones en España [Internet]. XI curso de especialización FEDNA; Nov. 7 y 8 1995; Barcelona, España. 15 p. Disponible en: [http://fundacionfedna.org/sites/default/files/95CAP\\_VI\\_1.pdf](http://fundacionfedna.org/sites/default/files/95CAP_VI_1.pdf)
14. Medel P, Latorre MA, Mateos GG. *Nutrición y alimentación de lechones destetados precozmente* [Internet]: Avances en nutrición y alimentación animal. XV curso de especialización FEDNA; 1999; Madrid, España. p. 145-96. Disponible en: <http://fundacionfedna.org/sites/default/files/99CAP7.pdf>
15. <http://www.fundacionfedna.org>: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal [Internet]. *Harina de pescado*, 70/9/13. Disponible en: [http://www.fundacionfedna.org/ingredientes para piensos/harina-de-pescado-70913](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes%20para%20piensos/harina-de-pescado-70913)
16. Lauridsen C. *Nutritional strategies for the prevention of colibacillosis in young pigs, effects on immune response, digestive health, and growth*. Nutritional strategies for the prevention of colibacillosis in young pigs [Internet]. XXXI curso de especialización FEDNA; Nov. 11 y 13 2015; Madrid, España. p. 49-64. Disponible en: [http://fundacionfedna.org/sites/default/files/2015\\_Cap\\_V\\_0.pdf](http://fundacionfedna.org/sites/default/files/2015_Cap_V_0.pdf)
17. Peace RM, Campbell J, Polo J, Crenshaw J, Russell L, Moeser A. *Spray-Dried Porcine Plasma Influences Intestinal Barrier Function, Inflammation, and Diarrhea in Weaned Pigs*. J nutr. 2011; 141(7): 1312-7.
18. Figueroa JL, Chi EE, Cervantes M, Domínguez IA. *Alimentos funcionales para cerdos al destete*. Vet Mex [Internet]. 2006; 37(1): 117-36. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/423/42337109.pdf>
19. Zimmerman RD, Sparks C. *Evaluation of a Byproduct from Hydrolyzed Porcine Small Intestines as an Ingredient in Pig Starters*. Anim Sci Res Rep. 1997; 10.
20. Hou Y, Wu Z, Dai Z, Wang G, Wu G. *Protein hydrolysates in animal nutrition: Industrial production, bioactive peptides, and functional significance*. J Anim Sci Biotechnol. 2017; 8(24):13 p.
21. Choct M, Dersjant- Li Y, Mc Leish J, Peisker M. Soy Oligosaccharides and Soluble Nonstarch Polysaccharides: A review of Digestion, Nutritive and Anti-nutritive Effects in Pigs and Poultry. Asian-australas J Anim Sci. 2010; 23(10):1386-98.
22. Wu G. *Dietary requirements of synthesizable amino acids by animals: a paradigm shift in protein nutrition*. J Anim Sci Biotechnol [Internet]. 2014; 5(34) Disponible en: <https://jasbsci.biomedcentral.com/articles/10.1186/2049-1891-5-34>
23. Bittman S, Dedina M, Howard CM, Oenema O, Sutton MA et al. *Options for Ammonia Mitigation: Guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen, Centre for Ecology and Hydrology*. 2014. Edinburgh, UK. Disponible en: [http://www.clrtap-tfrn.org/sites/clrtap-tfrn.org/files/documents/AGD final file.pdf](http://www.clrtap-tfrn.org/sites/clrtap-tfrn.org/files/documents/AGD_final_file.pdf)

24. Nemechek JE, Tokach MD, Dritz SS, Goodband RD, DeRouchey JM, Nelssen JL, Usry JL. *Evaluation of SID lysine level, the replacement of fish meal with crystalline amino acids, and lysine:CP ratio on growth performance of nursery pigs from 6.8 to 11.3 kg.* J Anim Sci. 2011b; 89(3).
25. Hill GM, Baido SK, Cromwell GL, Mahan DC, Nelssen JL, Stein HH. *Evaluation of sex and lysine during the nursery period.* J Anim Sci. 2007; 85:1453-8.
26. Figueroa JL, Lewis AJ, Miller PS, Fischer RL, Gómez RS, Diedrichsen RM. *Nitrogen metabolism and growth performance of gilts fed standard corn-soybean meal diets or low-crude protein, amino acid-supplemented diets.* J Anim Sci [Internet]. 2002; 80(11):2911-9. Disponible en: <https://search-proquest-com.cuarzo.unizar.es:9443/docview/218143808/fulltextPDF/1DD245EBFF94285PQ/1?accountid=14795>
27. Suárez –Belloch J, Guada JA, Latorre MA. *The effect of lysine restriction during grower period on productive performance, serum metabolites and fatness of heavy barrows and gilts.* Livest Sci. 2015; 171: 36-43.
28. Miralles HG. *Modificación de la calidad del N en dietas para cerdos de engorde: efectos sobre los parámetros productivos y las emisiones de amoníaco del purín* [tesis de máster]. Universidad Politécnica de Valencia; 2013. 66 p.
29. Otto ER, Yokoyama M, Hengemuehle S, von Bermuth RD, van Kempen T, Trottier NL. *Ammonia, volatile fatty acids, phenolics, and odor offensiveness in manure from growing pigs fed diets reduced in protein concentration.* J Anim Sci [Internet]. 2003; 81: 1754–63. Disponible en: <https://search-proquest-com.cuarzo.unizar.es:9443/docview/218133008/fulltextPDF/E3CF3BC6FF914874PQ/1?accountid=14795>
30. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. *Evaluación de técnicas de técnicas de reducción de emisiones en ganadería: sectores de porcino y avicultura de carne y puesta.* Madrid. 2014; 114 p.
31. Morazán Núñez HJ. *Emisión de amoníaco (NH<sub>3</sub>) y gases con efecto invernadero (CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) en cerdos en crecimiento: efecto del nivel de proteína y fibra de la ración* [Tesis]. Universitat de Lleida; 2014. 223p.
32. Heo JM, Kim JC, Hansen CF, Mullan BP, Hampson DJ, Pluske JR. *Feeding a diet with a decreased protein content reduces both nitrogen content in the gastrointestinal tract and post-weaning diarrhoea, but does not affect apparent nitrogen digestibility in weaner pigs challenged with an enterotoxigenic strain of Escherichia coli.* Anim Feed Sci Technol [Internet]. 2010;148–59. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377840110002270>
33. Le PD, Aarnink AJA, Jongbloed AW. *Odour and ammonia emission from pig manure as affected by dietary crude protein level.* Livest Sci. 2009; 121:267-74.
34. Le PD, Aarnink AJA, Jongbloed AW, Van der Peet-Schwering CMC, Ogink NWM, Verstegen MWA. *Content of dietary fermentable protein and odour from pig manure.* Anim Feed Sci Tech. 2008; 146: 98-112.
35. Dourmad JY, Jondreville C. *Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours.* Livest Sci. 2007; 112:192-8.

36. Carpenter DA, Mara FPO, Doherty JVO. *The effect of dietary crude protein concentration on growth performance, carcass composition and nitrogen excretion in entire grower finisher pigs*. Irish J Agr and Food Res. 2004; 43: 227-36.
37. Madrid J, Martínez S, López C, Orengo J, López MJ, Hernández F. *Effects of low protein diets on growth performance, carcass traits and ammonia emission of barrows and gilts*. Anim Prod Sci. 2013; 53: 146-53.
38. Aarnink AJA, Verstegen MWA. *Nutrition, key factor to reduce environmental load from pig production*. Livets Sci. 2007; 109: 194-203.
39. Unión Europea. Directiva (UE) 91/676/CEE del Consejo, de 12 de diciembre de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. Diario Oficial de la Unión Europea L 375, 31 de diciembre de 1991, p.1-8.
40. Unión Europea. Directiva (UE) 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos. Diario Oficial de la Unión Europea L 309, del 27 de noviembre de 2001, p. 22-30.
41. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). *Reference Document on Best Available Techniques (BREF) for Intensive Rearing of Poultry and Pigs*. 2003; 238p. Disponible en: [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/irpp\\_bref\\_0703.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/irpp_bref_0703.pdf)
42. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document (BREF) for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs*. 2017; 858p. Disponible en: [https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/IRPP/JRC107189\\_IRPP\\_Bref\\_2017\\_published.pdf](https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/IRPP/JRC107189_IRPP_Bref_2017_published.pdf)
43. Dourmad JY, Sève B, Latimier P, Boisen S, Fernandez J, Van der Peet-Schwering C et al. *Nitrogen consumption, utilisation and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark*. Livest Prod Sci [Internet]. 1999; 58: 261-4. Disponible en: [https://www.sciencedirect-com.cuarzo.unizar.es:9443/science/article/pii/S0301622699000159?via%3Dihub](https://www.sciencedirect.com/cuarzo.unizar.es:9443/science/article/pii/S0301622699000159?via%3Dihub)
44. Rist VTS, Weiss E, Eklund M, Mosenthin M. *Impact of dietary protein on microbiota composition and activity in the gastrointestinal tract of piglets in relation to gut health: a review*. Anim. 2013; 7(7):1067-78.
45. Heo JM, Kim JC, Hansen CF, Mullan BP, Hampson DJ, Pluske JR. *Effects of feeding low protein diets to piglets on plasma urea nitrogen, faecal ammonia nitrogen, the incidence of diarrhoea and performance after weaning*. Arch Anim Nutr. 2008; 62:343-58.
46. Rezaei R, Wang W, Wu Z, Dai Z, Wang J, Wu G. *Biochemical and physiological bases for utilization of dietary amino acids by Young pigs*. J Anim Sci Biotechnol. 2013; 4:7.
47. De Blas C, Gasa J, Mateos GG. *Necesidades nutricionales para el ganado porcino: Normas FEDNA*. 2ªedición. Madrid: Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal; 2013. 109 p.
48. Association of Officiating Analytical Chemists (AOAC). *Official method of Analysis, 18th Edition*. 2005.

49. Suárez-Belloch J, Sanz MA, Guada JA, Latorre MA. *Effect of advancing the supply of finisher diet on growth performances and carcass and pork quality of heavy barrows and gilts*. Anim. 2016; 11(1):156-63.
50. González LE, Ruíz SM. *Análisis de datos con el Modelo Lineal Generalizado. Una aplicación con R*. Rev Esp Pedagog. 2011; 248:59-80.
51. Owusu-Asiedu A, Nyachoti CM, Baidoo SK, Marquardt RR, Yang X. *Response of early-weaned pigs to an enterotoxigenic Escherichia coli (K88) challenge when fed diets containing spray-dried porcine plasma or pea protein isolate plus egg yolk antibody*. J Anim Sci. 2003; 81:1781–9.
52. Xiong X, Tan B, Song M, Ji P, Kim K, Yin Y et al. *Nutritional Intervention for the Intestinal Development and Health of Weaned Pigs*. Front Vet Sci. 2019; 6:46.
53. Kellogg TF, Hays VW, Catron DV, Quinn LY, Speer VC. *Effect of Level and Source of Dietary Protein on Performance and Fecal Flora of Baby Pigs*. J Anim Sci. 1964; 23(4):1089-94.
54. Van Milgen J, Dourmad JY. *Concept and application of ideal protein for pigs*. J Anim Sci. 2015; 6:15.
55. Le Bellego L, Noblet J. *Performance and utilization of dietary energy and amino acids in piglets fed low protein diets*. Livest Prod Sci. 2002; 76:45-58.
56. Wellock IJ, Fortomaris PD, Houdijk JGM, Kyriazakis I. *Effects of dietary protein supply, weaning age and experimental enterotoxigenic Escherichia coli infection on newly weaned pigs: health*. Anim. 2008b; 2: 834–42.
57. Wellock IJ, Fortomaris PD, Houdijk JGM, Kyriazakis I. *Effects of dietary protein supply, weaning age and experimental enterotoxigenic Escherichia coli infection on newly weaned pigs: performance*. Anim. 2008a; 2:825-33.
58. Opapeju FO, Krause DO, Payne RL, Rademacher M, Nyachoti CM. *Effect of dietary protein level on growth performance, indicators of enteric health, and gastrointestinal microbial ecology of weaned pigs induced with postweaning colibacillosis*. J Anim Sci [Internet]. 2009; 87(8):2635-43. Disponible en: <https://academic-oup-com.cuarzo.unizar.es/9443/jas/article/87/8/2635/4764226>
59. Van Vuuren AM, Pineiro C, van der Hoek KW, Oenema O. *Economics of Low Nitrogen Feeding Strategies*. In: Reis S., Howard C., Sutton M. (eds) Costs of Ammonia Abatement and the Climate Co-Benefits. Springer, Dordrecht. 2015; 35-51 p.
60. Gallo L, Dalla Montá G, Carraro L, Cecchinato A, Carnier P, Schiavon S. *Growth performance of heavy pigs fed restrictive diets with decreasing crude protein and indispensable amino acids content*. Livest Sci [Internet]. 2014; 161: 130–8.
61. Nørgaard JV, Fernández JA. *Isoleucine and valine supplementation of crude protein-reduced diets for pigs aged 5–8 weeks*. Anim Feed Sci Technol. 2009; 154:248-53.
62. Wu G, Wu Z, Dai Z, Yang Y, Wang W, Liu C et. al. *Dietary requirements of “nutritionally non-essential amino acids” by animals and humans*. Amino Acids. 2013; 44:1107-13.
63. Varela DB. *Aspectos prácticos sobre el crecimiento del cerdo*. XV Congreso Bional AMENA (Asociación Mexicana de Especialistas en Nutrición Animal); Oct 18-21 2011; Hotel Meliá Azul Ixtapa, Guerrero, México.



